



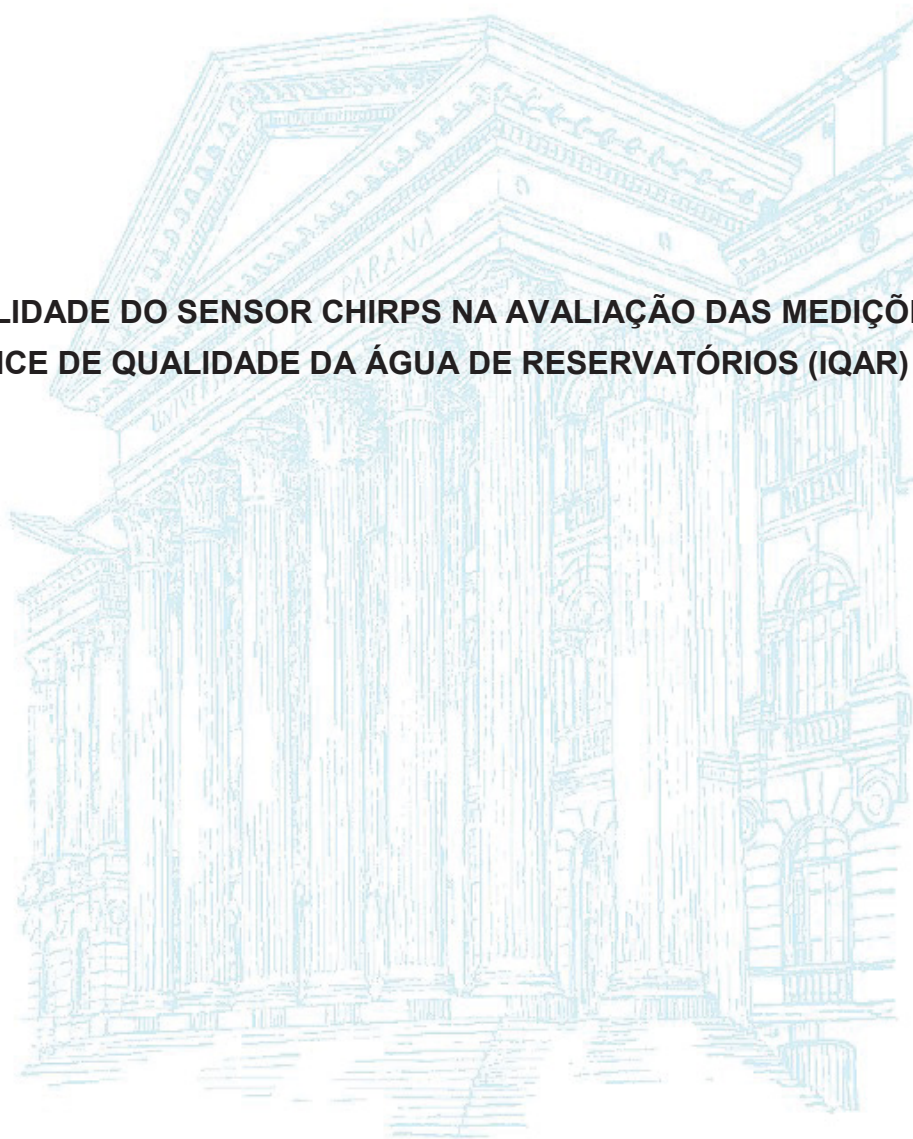
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**



**SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
ANÁLISE AMBIENTAL**

**LUAN CORDOVÊS CHANQUINI**

**APLICABILIDADE DO SENSOR CHIRPS NA AVALIAÇÃO DAS MEDIÇÕES  
DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS (IQAR)**



**CURITIBA**

**2019**

LUAN CORDOVÊS CHANQUINI

APLICABILIDADE DO SENSOR CHIRPS NA AVALIAÇÃO DAS MEDIÇÕES  
DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS (IQAR)

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, Curso de Especialização em Análise Ambiental, Departamento de Geografia Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Flavio Feltrim Roseghini

CURITIBA

2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO ANÁLISE AMBIENTAL -  
40001016209E1

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de **LUAN CORDOVÊS CHANQUINI** intitulada: **APLICABILIDADE DO SENSOR CHIRPS NA AVALIAÇÃO DAS MEDIÇÕES DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS (IQAR)**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Fevereiro de 2019.

WILSON FLÁVIO FELTRIM ROSEGHINI  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

FRANCISCO JABLINSKI CASTELHANO  
Avaliador Externo (PGGEOGRAFIA)

## **APRESENTAÇÃO**

Este trabalho foi apresentado ao Programa de Especialização em Análise Ambiental da Universidade Federal do Paraná como requisito para obtenção do grau de Especialista em Análise Ambiental, orientado pelo Professor Dr. Wilson Flavio Feltrim Roseghini.

Este foi realizado com o intuito de verificar a aplicabilidade do sensor CHIRPS na avaliação das medições do Índice de Qualidade da Água de Reservatórios bem como a influência das chuvas nas mesmas.

## RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com a finalidade de verificar a possibilidade do uso de dados de precipitação obtidos por meio de satélite do sensor CHIRPS, para identificar possíveis influências das chuvas nas variáveis do Índice de Qualidade da Água de Reservatórios elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná, utilizando como recorte espacial a sub-bacia do Alto Iguaçu, com foco nos reservatórios que abastecem Curitiba e Região Metropolitana (Passaúna, Piraquara I, Piraquara II e Iraí). Verificou-se a correlação dos dados do CHIRPS com os dados de superfície do INMET em escala mensal e anual afim de confirmar a aproximação desses dados. Considerou-se as correlações em escala anual como altas bem como em escala mensal, porém nesta houve uma maior variação nos resultados das correlações em relação a escala anual. Verificou-se a influência da precipitação nos principais parâmetros que compõem o IQAR. Conclui-se que a ferramenta do CHIRPS possa servir de apoio para o tipo de estudo no sentido de criar subsídios para uma análise mais completa, uma vez que não foi possível avaliar a influência das chuvas em alguns pontos devido à falta de outras fontes de dados.

Palavras-chave: CHIRPS. Correlação. Alto Iguaçu. IQAR. Reservatórios. Precipitação. Clima.

## **ABSTRACT**

The present study was developed with the purpose of verifying the possibility of the use of precipitation data obtained by satellite of the CHIRPS sensor, to identify possible rain influences in the variables of the Water Quality Index of Reservoirs elaborated by the Paraná Environmental Institute, whose spatial cutout is the Upper Iguaçu sub-basin, focusing on the reservoirs that supply Curitiba and the Metropolitan Region (Passaúna, Piraquara I, Piraquara II and Iraí). Has been verified the correlation of the CHIRPS data with the INMET surface data on monthly and annual scale in order to confirm the approximation of these data. The correlations were considered in annual scale as high as well as monthly, but in this, there was a greater variation in the results of correlations in relation to the annual scale. Has been verified the influence of precipitation on the main parameters that compose the WQIR. It was concluded that the CHIRPS tool can serve as support to the type of study in order to create subsidies for a more complete analysis, since it was not possible to evaluate the influence of the rains in some points due to the lack of other sources of data.

Key words: CHIRPS. Correlation. Upper Iguaçu. WQIR. Reservoirs. Precipitation. Climate.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – IMAGEM DE SATÉLITE DESTACANDO A SUB-BACIA DO ALTO IGUAÇU.....	14
FIGURA 2 - PRECIPITAÇÃO ANUAL NA SUB-BACIA DO ALTO IGUAÇU NO PERÍODO DE 30 ANOS COM NORMAL CLIMATOLÓGICA.....	15
FIGURA 3 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO EM ESCALA MENSAL NO PERÍODO DE 1985 A 2015 (MAIORES E MENORES).....	18
FIGURA 4 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO MENSAL HISTÓRICA NO PERÍODO DE 1985 A 2015.....	25

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VARIÁVEIS DA QUALIDADE DA ÁGUA E SEUS LIMITES DEFINIDOS PELO INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ.....	23
TABELA 2 – CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA SEGUNDO O ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS (IQAR).....	23
TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE CURITIBA E REGIÃO QUANTO AO SEU IQAR.....	24
TABELA 4 - PRECIPITAÇÃO EM ESCALA MENSAL NO PERÍODO DE 2008 A 2014 (MM).....	24
TABELA 5 - IQAR DO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA (AGO/09 A JUL/13).....	25
TABELA 6 - IQAR DO RESERVATÓRIO DO PIRAQUARA I (FEV/09 A JUL/13).....	26
TABELA 7 - IQAR DO RESERVATÓRIO DO PIRAQUARA II (NOV/09 A JUL/13).....	27
TABELA 8 - IQAR DO RESERVATÓRIO DO IRAÍ (FEV/09 A JUL/13).....	28
TABELA 9 - CORRELAÇÃO NA ESCALA ANUAL ENTRE OS DADOS DO CHIRPS E INMET NO PERÍODO DE 1985 A 2015.....	30



## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

CHIRPS – Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

IAP – Instituto Ambiental do Paraná

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto de Meteorologia

IQA – Índice de Qualidade da Água

IQAR – Índice de Qualidade da Água de Reservatórios

OD – Oxigênio Dissolvido

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

UTM – Universal Transversa de Mercator

USGS – United States Geological Survey

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
4.1	A SITUAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO NA SUB- BACIA DO ALTO IGUAÇU.....	18
4.1.1	Temperatura.....	19
4.1.2	Oxigênio dissolvido.....	19
4.1.3	Transparência e turbidez.....	20
4.1.4	Potencial Hidrogeônico (pH).....	20
4.1.5	Condutividade elétrica .....	20
4.1.6	Nitrogênio e fósforo .....	21
4.1.7	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) .....	21
4.1.8	Sólidos totais .....	22
4.1.9	Clorofila a .....	22
4.1.10	Cianobactérias .....	22
4.2	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS.....	23
4.3	A APLICABILIDADE DOS DADOS DO SENSOR CHIRPS NA IDENTIFICAÇÃO DE INFLUÊNCIAS DAS VARIÁVEIS DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	29
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A temática do clima vem sendo bastante estudada nos últimos anos, pois possibilita a previsão de eventos extremos que podem causar impactos nos centros urbanos bem como à sociedade em geral. O estudo do clima também proporciona um posicionamento perante a execução de alguma ação em diversas áreas do conhecimento.

As proporções continentais do Brasil, em conjunto com características geográficas específicas, somados às massas de ar de características distintas, sendo quentes, frias, úmidas e secas, aliadas a um conjunto de centros de ação, são responsáveis por influenciar na formação climática do território. (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 139).

O principal “motor” do clima é o sol. Cada tipo de superfície presente no planeta reage de forma diferente à radiação solar, ocasionando variações na temperatura que causam aumento ou diminuição da pressão atmosférica. Essa pressão em conjunto com o movimento de rotação da Terra movimenta o ar. O vento carrega a umidade através dos processos de ascendência e subsidência do ar, essa umidade ao atingir determinada altitude se condensa formando as nuvens, onde por sua vez ocorrem processos internos até que as gotas d’água atinjam o tamanho adequado para se precipitarem de volta à superfície terrestre.

O clima é um agente atuante no cotidiano das pessoas e tem certa influência nas ações dentro desse cotidiano e nas tomadas de decisões para fins de obras e serviços de infraestrutura, agricultura, indústrias e etc.. Diante disso, estudar o clima se faz importante para antecipar futuros problemas que possam afetar estas atividades. (CASTELHANO; PINHEIRO; ROSEGHINI, 2017).

Para Fritzsons *et al.* (2011), é muito importante compreender as características pluviométricas de uma região para desenvolver pesquisas hídricas, recarga de aquíferos, para o planejamento ambiental além do estudo das mudanças climáticas uma vez que a pluviometria da região se torna referenciada.

Nesse contexto, as bacias hidrográficas surgem como um espaço que demanda destaque para o estudo do clima, uma vez que devido as suas áreas extensas, em determinados casos, pode-se observar consequências distintas da ação do clima sobre a mesma bacia, uma delas é a distribuição irregular das chuvas. São dentro das bacias hidrográficas que estão inseridos os centros urbanos com grandes

concentrações de pessoas, onde eventos climáticos extremos como uma grande concentração de precipitação em um curto espaço de tempo, podem vir a ser catastróficos e trazer inúmeros prejuízos financeiros e materiais às vítimas e aos órgãos públicos.

Por se tratar de um ecossistema, nas bacias hidrográficas há diversas interações entre os organismos presentes e o ambiente no seu entorno, onde quaisquer alterações nesse sistema, sejam elas de origem antrópica ou natural, causará impactos e poderá alterar a forma como essas interações ocorrem.

Conhecer o processo hidrológico de uma bacia, possibilita a mitigação de alguns impactos tais como a susceptibilidade à erosão na bacia além do melhor aproveitamento dos recursos hídricos. (OLIVEIRA, 1999).

Na sub-bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, há alguns corpos hídricos com seu estado de conservação altamente degradado, como é o caso dos rios que drenam Curitiba, ao contrário do que possa parecer, as chuvas podem acentuar os problemas oriundos desses rios, aumentando o nível da água e provocando enchentes e inundações em suas adjacências, proliferando a contaminação que aliado ao mau uso deste rio trazem sérios riscos à população e ao sistema urbano.

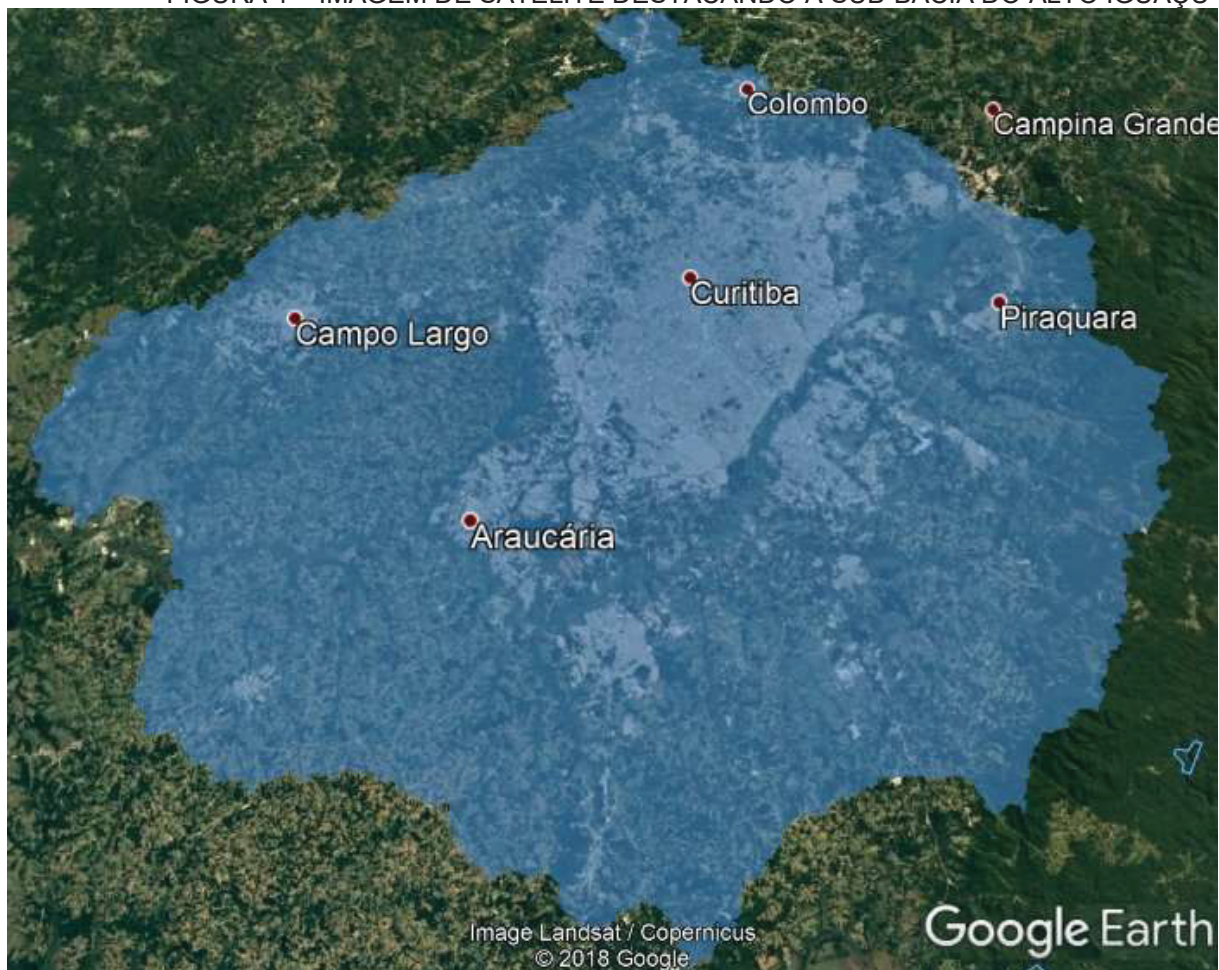
O presente estudo visa verificar a correlação dos dados de precipitação em escala mensal e anual no período de 1985 a 2015 utilizando como recorte espacial a sub-bacia hidrográfica do Alto Iguaçu. Os dados foram obtidos por meio do banco de dados do INMET (Instituto de Meteorologia) para a estação de Curitiba e a ferramenta de obtenção de dados por satélite CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*) disponibilizado pela Universidade de Columbia de Nova York porém com várias fontes externas, oriundas de inúmeros bancos de dados climatológicos fornecidos por diversos centros de pesquisas e institutos climatológicos. Devido aos dados de precipitação do CHIRPS serem oriundos de um método de estimativa de precipitação, se fez necessário a busca por outra fonte de dados para a mesma região, afim de atribuir maior consistência ao tratamento desses dados. Buscou-se inter-relacionar os dados obtidos e os relatórios de qualidade da água de reservatórios do IAP (Instituto Ambiental do Paraná) a fim de identificar uma possível influência nos corpos d'água da área de estudo devido às precipitações e variações climáticas, bem como uma possível utilização do método em estudos futuros.

Os reservatórios são sistemas complexos que apresentam várias características. Tanto o seu funcionamento quanto a sua estrutura são determinados pelas características climáticas e hidrológicas. (IAP, 2009). A legislação que rege os critérios de qualidade da água nos corpos hídricos no território nacional é a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe de critérios da qualidade da água de acordo com seus usos múltiplos. Ainda há vários indicadores que podem ser usados para a determinação da qualidade da água como: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, turbidez e temperatura da água, clorofila a, fitoplâncton, sólidos totais, pH e alcalinidade além de teores de nutrientes como nitrogênio, fósforo.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A sub-bacia hidrográfica do Alto Iguaçu se situa na região Sul do Brasil, na porção oeste da Serra do Mar localizada no leste paranaense. Sua população estimada é de 3,25 milhões, totalizando 29% da população do estado (IBGE, 2017), as principais cidades que situam na bacia são: Curitiba, São José dos Pinhais, Colombo, Araucária e Pinhais, estas que, por sinal, fazem parte da Região Metropolitana de Curitiba. A sub-bacia do Alto Iguaçu possui uma área de aproximadamente 3000 km<sup>2</sup> que abrange total ou parcialmente os municípios da Região Metropolitana de Curitiba. (SUDERHSA, 2000).

FIGURA 1 – IMAGEM DE SATÉLITE DESTACANDO A SUB-BACIA DO ALTO IGUAÇU



FONTE: SUDERHSA, 2000; Image Landsat/Copernicus, 2018 acessado pelo Google Earth em 06.12.2018. Data das imagens: 09.06.2018, altitude do ponto de visão de 90.89 Km.

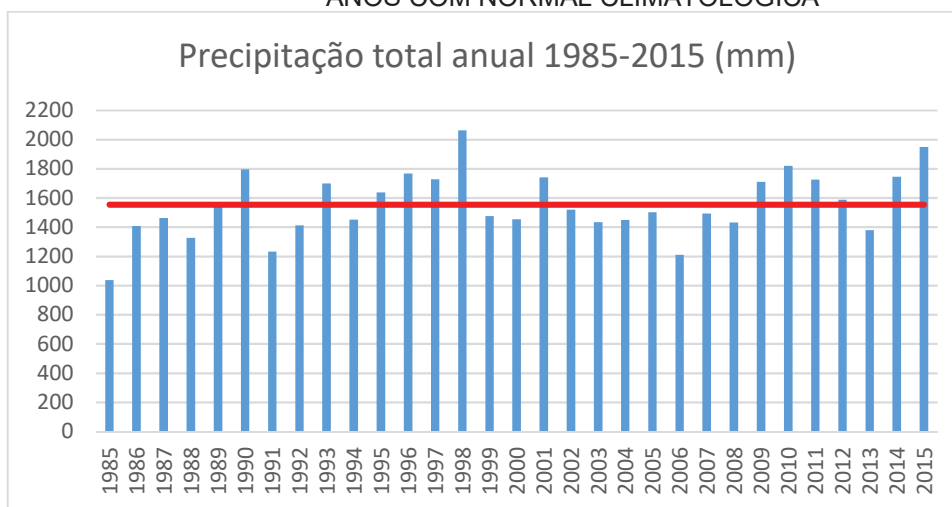
Uma característica bastante peculiar da sub-bacia do Alto Iguaçu em relação às demais bacias do Estado do Paraná é a alta densidade populacional dentro dos limites da sub-bacia. A alta concentração urbana pode trazer problemas ambientais

aos corpos hídricos e seus afluentes, como é o caso do rio Barigui que, segundo Azevedo (2006), neste curso hídrico deságua uma grande carga poluidora de esgotos domésticos e efluentes industriais oriundos da drenagem urbana.

O IQA (Índice de Qualidade da Água) de alguns afluentes do Alto Iguaçu indica qualidade boa ou razoável, já no caso do rio Palmital, predomina a qualidade ruim. Os afluentes do Iguaçu que indicam boa qualidade são: Miringuava, Miringuava Mirim (afluente do rio Miringuava), Verde, Despique, Faxinal, Maurício e Cotia. Ainda acerca da qualidade, alguns rios que escoam por Curitiba possuem alta carga de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio dissolvido e são classificados como “Poluídos ou Extremamente Poluídos”, como é o caso dos rios Água Verde, Atuba, Bacacheri, Barigui, Belém, Fanny, Ivo, Padilha e Parolin. Esses afluentes são responsáveis pela má qualidade do rio Iguaçu na região. (SEMA, 2013).

A figura a seguir mostra a caracterização anual da chuva para a região da sub-bacia do Alto Iguaçu e a linha horizontal vermelha representa a Normal Climatológica no período de 1985 a 2015 fornecida pelo CHIRPS.

FIGURA 2 – PRECIPITAÇÃO ANUAL NA SUB-BACIA DO ALTO IGUAÇU NO PERÍODO DE 30 ANOS COM NORMAL CLIMATOLÓGICA



FONTE: CHIRPS (2018).

A caracterização das chuvas na sub-bacia do Alto Iguaçu sofre variações pequenas ao longo dos anos, sendo alguns casos mais isolados com precipitações bem acima da Normal Climatológica, no entanto, os dados nessa escala temporal não apresentam um detalhamento da distribuição das chuvas ao longo dos anos.



### 3 MÉTODOS

Inicialmente, para a criação da gama de dados pluviométricos, foi necessária a utilização de fontes confiáveis e que estivessem disponíveis em seus respectivos bancos de dados, dados compatíveis com o período de tempo mínimo para elaboração de uma análise climatológica. O período escolhido para o estudo foi de 30 anos sendo de 1985 a 2015, cujo recorte espacial, como dito anteriormente, é a sub-bacia do alto Iguaçu.

A escolha do CHIRPS (*Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station*) se fez devido à sua confiabilidade e disposição do acervo de dados históricos de precipitação. Verifica-se tal confiabilidade conforme um estudo realizado por Castellano, Pinheiro e Roseghini (2017) sobre a correlação entre a precipitação estimada por satélite e os dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos.

Os dados cobrem quase todo o globo, abrangendo as latitudes 50° N e 50° S bem como todas as longitudes desde 1981, os sensores possuem uma resolução espacial de 0,05° que são interpolados com dados de estações terrestres.

Para a formação do banco de dados do CHIRPS, o algoritmo opera com estimativas de precipitação através do método de *duration of cold clouds*. Milford; McDougall e Dugdale [1994?] classificam o termo “Nuvem fria” como uma série de imagens térmicas infravermelhas cujos pixels possuem sensação térmica mais baixa que alguns limites predeterminados com características acumuladas ao longo de um período. O resultado é uma estimativa de precipitação combinada com outras fontes de dados como estações meteorológicas de superfície do local estabelecido.

Não foi possível cobrir perfeitamente a área de estudo, pois uma vez que o conjunto dos sensores do satélite caracteriza um pixel, os dados foram coletados através de um quadro de pixels que abrange a área de estudo e extrapolam parcialmente os limites da área e posteriormente calculada a média aritmética dos dados obtidos nos pixels em escala mensal. A delimitação da área dos pixels no script para extração desses dados foi feita a partir dos sistemas de coordenadas geográficas UTM (Universal Transversa de Mercator).

Para correlacionar esses dados e verificar suas semelhanças, foram cedidos pelo site do INMET (Instituto de Meteorologia) através do portal BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa). O Banco disponibiliza dados



meteorológicos diários de forma digital, oriundo de várias estações convencionais espalhadas pelo país desde 1961. Tais dados foram obtidos em escala mensal bem como os dados do CHIRPS ao longo do período já descrito acima.

Em virtude de os dados serem disponibilizados de maneira crua, a lapidação dos dados para posterior análise e interpretação destes, foi realizada dispondo-os em tabelas para melhor organização a visualização, após o cálculo das respectivas médias, foram feitos outros cálculos em que os resultados dependem uns dos outros tais como: desvio padrão e coeficiente de variação para avaliar o quão distante da média estavam os resultados. O mesmo foi aplicado para os dados obtidos por meio do portal BDMEP. As fórmulas utilizadas no processamento desses dados foram: média aritmética ( $M_a$ ), afim de obter o valor médio dos dados de precipitação, pois cada pixel da área de estudo apresentou um valor, desvio padrão ( $D_p$ ), que indica o grau de dispersão de um conjunto de dados, indicando o quão uniformes esses dados são, e o coeficiente de variação ( $C_v$ ), que analisa a dispersão do conjunto de dados e é expressado em porcentagem.

Após o tratamento desses dados, foram utilizadas as variáveis de precipitação resultantes do tratamento dos dados do CHIRPS e do INMET para correlacionar entre elas utilizando o método de Pearson, conhecido como  $p$  de Pearson, a fim de verificar o grau de associação entre as mesmas.

Os resultados obtidos por essa correlação variam de -1 a 1, sendo quanto mais próximos de 1, mais forte ou perfeita é a correlação. Para valores iguais ou próximos a zero, indica que a relação entre as variáveis é nula ou baixa. E por último, para valores iguais ou próximos de -1 caracteriza o quanto a correlação é forte ou perfeita, porém as variáveis são proporcionalmente inversas (MUKAKA, 2012).

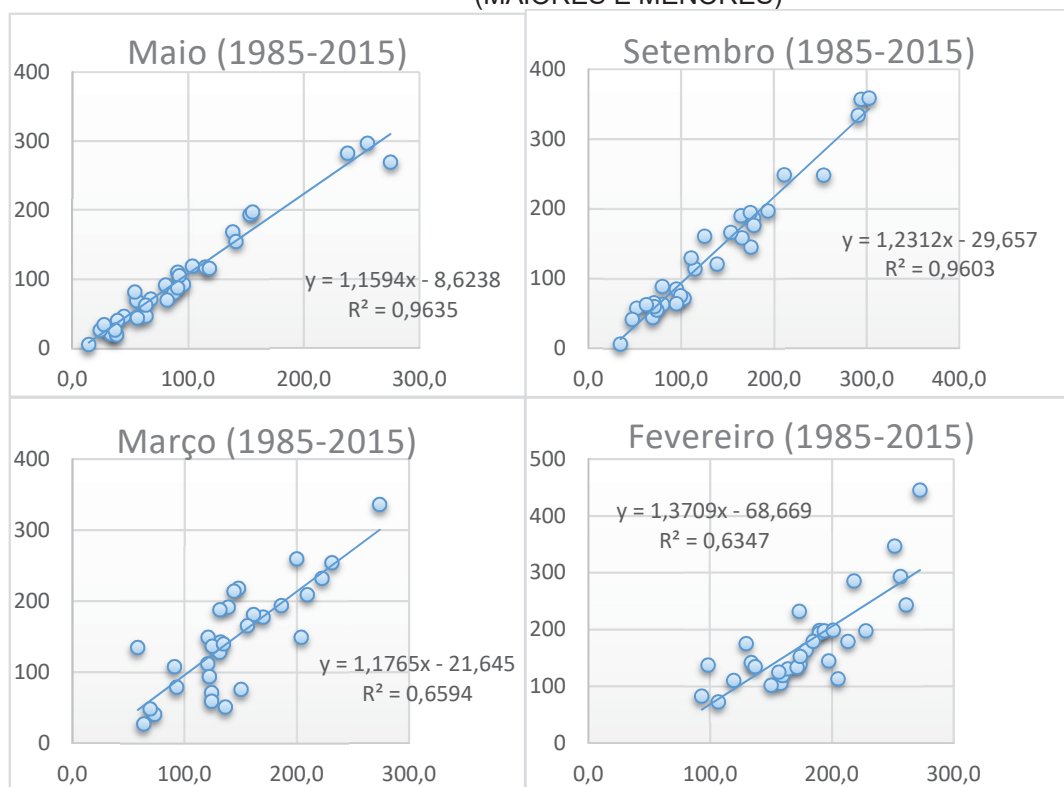
Para facilitar a visualização dos resultados das correlações, foram feitos gráficos de dispersão com linhas de tendência que mostram a direção que tende a correlação utilizando o software Excel.

Com os dados de precipitação obtidos e tratados, foi possível dar início às análises de uma possível influência por parte das chuvas nos parâmetros para obtenção do Índice de Qualidade da Água de Reservatórios (IQAR) com base no relatório elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná (2017), acerca do IQA dos reservatórios do Paraná. Além de verificar a viabilidade da utilização da ferramenta do sensor CHIRPS para o estudo em questão.

## 4 DISCUSSÃO

A figura 3 representa a relação entre os valores dos dados do satélite CHIRPS e os dados obtidos pelo INMET em escala mensal durante o período de 1985 a 2015, no geral, as correlações foram satisfatórias e apresentaram altos valores em sua maioria.

FIGURA 3 – GRÁFICOS DE DISPERSÃO EM ESCALA MENSAL NO PERÍODO DE 1985 A 2015 (MAIORES E MENORES)



FONTE: CHIRPS (2018).

Desta forma, justifica-se a viabilidade da utilização dos dados de precipitação do satélite CHIRPS em escalas mensais.

### 4.1 A SITUAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO NA SUB-BACIA DO ALTO IGUAÇU

A qualidade da água em um corpo hídrico pode ser determinada por diversos fatores que são em sua maioria indicadores de poluição por esgotos domésticos. Visando a qualidade da água para abastecimento público, foi criado o Índice de Qualidade da Água (IQA). Porém a avaliação da qualidade da água por meio do IQA como qualquer análise, possui suas limitações, uma vez que não analisa alguns

parâmetros importantes para a questão do abastecimento público como contaminação por metais pesados e outras substâncias tóxicas (ANA, 2004?).

O Instituto Ambiental do Paraná selecionou as variáveis conforme os custos, objetivo do monitoramento e eficácia dos métodos para elaboração dos relatórios de índice de qualidade da água em reservatórios. As variáveis selecionadas foram: temperatura da água, concentração e saturação de oxigênio dissolvido, transparência e turbidez, pH, alcalinidade total, condutividade elétrica, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, nitrogênio inorgânico, clorofila a e fitoplâncton.

#### 4.1.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro importante, pois pode influenciar de forma significativa nos processos físico-químicos da água e de sua densidade. Em corpos hídricos com baixa dinâmica aquática, ocorre o fenômeno chamado de estratificação térmica que forma camadas de diferentes temperaturas ao longo da profundidade da coluna d'água, causando diferenças de densidades e impedindo sua homogeneidade. A ação dos ventos é um agente externo que pode romper essa barreira e tornar a coluna d'água mais homogênea.

#### 4.1.2 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (O.D.) é também uma variável de grande importância para a determinação do grau de poluição de um corpo hídrico, uma vez que esse oxigênio é consumido por organismos aquáticos aeróbicos no processo de decomposição da matéria orgânica. O O.D. também está presente no processo de autodepuração de um corpo hídrico através de processos físicos, químicos e biológicos para decomposição de poluentes. O O.D. é inserido no meio aquático através de processos fotossintéticos e da inter-relação entre ar e água, em concentrações abaixo de 2 mg/L pode ocasionar na mortandade de peixes, ao passo que concentrações abaixo de 5 mg/L podem afetar o funcionamento de comunidades biológicas na água, aumentando a carga de matéria orgânica e exigindo maior consumo de O.D. para a sua decomposição, com o déficit de oxigênio no ambiente aquático, favorece o surgimento de espécies anaeróbicas. As concentrações de O.D.

podem variar num período de 24h devido às variações de temperatura, salinidade e pressão aquáticas. Portanto, águas mais frias retêm mais oxigênio.

#### 4.1.3 Transparência e turbidez

A transparência no ambiente aquático do ponto de vista ótico pode indicar algum tipo de poluição ou pode caracterizar um acúmulo de partículas em suspensão (sedimentos, partículas orgânicas, fitoplâncton) que diminuem a transparência da água. A transparência e turbidez, embora não tenham a mesma unidade de medida, do ponto de vista ótico, estas de certa forma se anulam pois a medida que uma variável aumenta a outra diminui. A transparência também está relacionada com a incidência de luz solar e varia conforme a profundidade da coluna d'água aumenta. Para se medir a transparência, é feito por meio do disco de Secchi até uma determinada profundidade, nas zonas mais profundas onde há pouca ou não há incidência de luz esta é medida por um hidro fotômetro.

#### 4.1.4 Potencial Hidrogeônico (pH)

O pH vem a ser um indicativo de poluição em corpos d'água pois a introdução de substâncias químicas como os metais pesados alteram a relação ácido-base, podendo potencializar as reações químicas na água que são tóxicas para os organismos aquáticos.

O pH pode variar mais em águas de baixa alcalinidade ao passo que possui menor variação em águas de maior alcalinidade, outro fator responsável pela variação do pH são os processos fotossintéticos das algas.

#### 4.1.5 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é uma variável importante na avaliação da qualidade de um corpo hídrico por indicar diversas informações. De acordo com Esteves (1998), a condutividade elétrica fornece informações importantes como a intensidade da concentração iônica, os processos de produção primária que reduz a condutividade e os processos de decomposição da matéria orgânica que aumentam a condutividade bem como a possibilidade de detectar fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos.

#### 4.1.6 Nitrogênio e fósforo

Elementos como nitrogênio e fósforo estão presentes nos ecossistemas aquáticos, e afetam o metabolismo dos organismos presentes no corpo hídrico, que em grandes quantidades podem desencadear um processo de eutrofização no corpo hídrico impossibilitando o uso dessa água para consumo. Tanto o nitrogênio como o fósforo são introduzidos no meio aquático de forma natural ou artificial, o nitrogênio é introduzido através da decomposição da matéria orgânica que por sua vez é um processo do ciclo do nitrogênio. Segundo Esteves (1998), os micro-organismos possuem importante função nesse ciclo atuando nos quatro processos básicos: amonificação, nitrificação, desnitrificação e amonificação do nitrato. A amônia ( $\text{NH}_3$ ) é resultante da decomposição do nitrogênio presente na matéria orgânica durante o processo de amonificação, e esta ocorre naturalmente em corpos hídricos através dessa decomposição, da excreção da biota bem como pela relação com a atmosfera. Também está presente em alguns efluentes industriais e domésticos, caracterizando uma fonte artificial ao meio aquático (IAP, 2017).

A origem do fósforo no meio aquático se dá através da desagregação de minerais das rochas por meio de forças intempéricas, bem como o material particulado presente na atmosfera e o fosfato orgânico decomposto. O fósforo também está presente nos fertilizantes agrícolas e efluentes domésticos que são despejados na água através do processo de lixiviação. Grandes concentrações de nutrientes como o nitrogênio e fósforo podem acelerar o processo de eutrofização de um corpo hídrico devido à facilidade de assimilação dos organismos presentes, por essas questões, estes possuem relevância na determinação do estado trófico de um corpo d'água.

#### 4.1.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{DBO}_5$ ) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{DBO}_5$ ) indica a quantidade necessária de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica num corpo d'água por micro-organismos aeróbicos, ao passo que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio demandada para oxidar a matéria orgânica através de um agente químico oxidante. Não se dá para ter uma relação fixa entre os dois parâmetros devido a uma série de fatores que interferem. A DQO é mais utilizada para efluentes

domésticos e industriais devido ao seu tempo de resposta que gira em torno de duas horas, ao passo que a DBO<sub>5</sub> leva 5 dias.

#### 4.1.8 Sólidos totais

Os sólidos totais é a somatória dos sólidos suspensos com os sólidos dissolvidos, onde o termo “suspenso” caracteriza os sólidos não filtráveis e o “dissolvido” corresponde aos resíduos filtráveis (BAUMGARTEN; POZZA, 2001). Grandes concentrações de material particulado em suspensão na água interferem na qualidade da água devido à diminuição da penetração da luz solar na água, aumentando a turbidez diminuindo a visibilidade no local e inibindo a capacidade fotossintética da vegetação e do fitoplâncton (IAP, 2017).

#### 4.1.9 Clorofila a

A clorofila a é um abundante pigmento presente nas plantas que possui capacidade de capturar da radiação solar a energia necessária para realizar o processo da fotossíntese, transformando dióxido de carbono e água em carboidratos e oxigênio. A clorofila também pode ser utilizada na estima da biomassa do fitoplâncton, já que este faz parte de sua composição, e com isso identificar alterações na qualidade da água e avaliar se tendem ou não modificar o habitat e/ou o comportamento dos organismos (IAP, 2017).

#### 4.1.10 Cianobactérias

As cianobactérias também demandam atenção no que está acerca da qualidade da água, pois são seres autótrofos (produzem o próprio alimento) que ocorrem em corpos d'água com elevado aporte de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, com isso, tais organismos possuem uma proliferação acelerada e são distribuídos nos corpos d'água através de florações na superfície, sendo responsáveis por diminuir a infiltração da luz solar na água e impedir o desenvolvimento de outros organismos no espaço desequilibrando o ecossistema. De acordo com Oliver e Ribeiro (2014), as cianobactérias aumentam a quantidade de matéria orgânica na água, e essa matéria se combinada com o cloro, no qual é muito

utilizado no tratamento de águas, pode dar origem a subprodutos da cloração, os trihalometanos, que são nocivos à saúde humana.

## 4.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS

O IQAR tem por objetivo classificar os reservatórios em diferentes classes de acordo com o grau de degradação da qualidade da água. Para cada variável é atribuído um peso, cujos valores determinam maior ou menor influência. O IQAR é determinado a partir da somatória do produto entre as variáveis e seus respectivos pesos, divididos pela somatória dos pesos. O resultado é um IQAR parcial, a média aritmética de dois ou mais parciais fornecem o IQAR final e a classe no qual o determinado reservatório pertence. A tabela seguinte apresenta as variáveis utilizadas na definição do IQAR além das quantidades máximas e mínimas para cada classe, sendo a classe III os valores máximos para águas destinadas ao abastecimento público previstos na Resolução CONAMA 357/2005.

TABELA 1 – VARIÁVEIS DA QUALIDADE DA ÁGUA E SEUS LIMITES DEFINIDOS PELO INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ

Variáveis	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI
Déficit de oxigênio (%)	≤5	6-20	21-35	36-50	51-70	>70
Fósforo Total (P-mg/L)	≤0,010	0,011-0,025	0,026-0,040	0,041-0,085	0,086-0,210	>0,210
Nitrog. Inorg. Total (N – mg/L)	≤0,15	0,16-0,25	0,26-0,60	0,61-2,00	2,00-5,00	>5,00
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	≤1,5	1,5-3,0	3,1-5,0	5,1-10,0	11,0-32,0	>32
Disco de Secchi (m)	≥3	3-2,3	2,2-1,2	1,1-0,6	0,5-0,3	<0,3
DQO (mg/L)	≤3	3-5	6-8	9-14	15-30	>30
Tempo de residência (dias)	≤10	11-40	41-120	121-365	366-550	>550
Profundidade média (m)	≥35	34-15	14-7	6-3,1	3-1,1	<1
Cianobactérias (nº de células/ml)	≤1.000	1.001-5.000	5.001-20.000	20.001-50.000	50.001-100.000	>100.000

FONTE: IAP (2017).

A tabela a seguir define as classes de degradações para corpos d'água de acordo com os valores do IQAR.

TABELA 2 – CLASSES DE QUALIDADE DE ÁGUA SEGUNDO OS ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS (IQAR)

DEFINIÇÃO	CLASSES	IQAR
Não Impactado a Muito Pouco Degradado	I	$\text{IQAR} \leq 1,5$
Pouco Degradado	II	$1,5 < \text{IQAR} \leq 2,5$
Moderadamente Degradado	III	$2,5 < \text{IQAR} \leq 3,5$
Criticamente Degradado a Poluído	IV	$3,5 < \text{IQAR} \leq 4,5$
Muito Poluído	V	$4,5 < \text{IQAR} \leq 5,5$
Extremamente Poluído	VI	$> 5,5$

FONTE: IAP (2017).



Atualmente, Curitiba e Região Metropolitana contam com quatro reservatórios para abastecimento da população que são os reservatórios do Passaúna, Piraquara I, Piraquara II e Iraí. A tabela a seguir apresenta os valores e a classificação final do IQAR dos reservatórios que abastecem Curitiba e Região.

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE CURITIBA E REGIÃO QUANTO AO SEU IQAR

<b>Reservatório</b>	<b>IQAR final</b>	<b>Classe</b>	<b>Definição</b>	<b>Período</b>
Passaúna	3,1	III	Moderadamente degradado	1999/2013
Piraquara I	3,1	III	Moderadamente degradado	1999/2013
Piraquara II	3,3	III	Moderadamente degradado	2000/2012
Iraí	4	IV	Criticamente degradado	2001/2013

FONTE: IAP (2017).

Os valores de precipitação média no período que fora realizado as medições do IAP encontram-se na tabela 04, os valores correspondem às médias mensais de precipitação obtidos através da ferramenta do sensor CHIRPS.

TABELA 4 – PRECIPITAÇÃO EM ESCALA MENSAL NO PERÍODO DE 2008 A 2014 (MM).

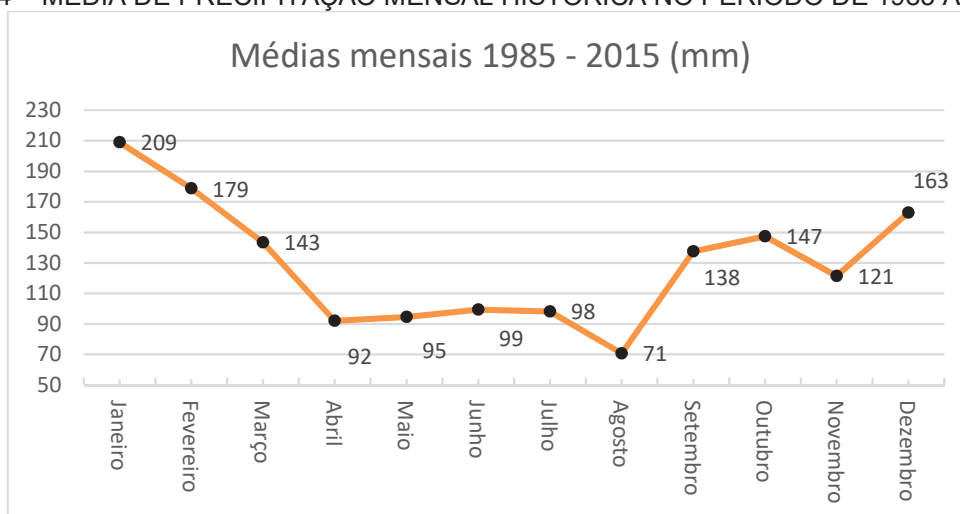
<b>ANO</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>2008</b>	199,6	137,0	131,4	142,1	55,6	106,2	36,9	123,6	69,6	241,7	108,2	79,8
<b>2009</b>	213,1	156,5	91,0	35,7	54,0	69,5	226,9	75,2	290,9	149,2	184,1	162,9
<b>2010</b>	357,9	184,6	209,2	184,3	92,3	73,5	94,9	43,7	74,2	131,0	98,6	274,5
<b>2011</b>	280,7	256,2	150,4	69,0	27,4	112,0	139,9	237,4	71,2	171,2	83,6	126,6
<b>2012</b>	143,3	201,2	69,1	178,8	63,2	221,6	103,9	24,1	62,6	175,7	79,1	263,9
<b>2013</b>	95,2	227,9	58,2	66,9	81,8	212,7	123,6	36,7	193,8	103,8	95,4	82,0
<b>2014</b>	223,2	119,4	222,4	98,5	90,9	202,1	55,3	65,7	178,5	106,9	190,7	191,9

FONTE: CHIRPS, (2018).

A figura a seguir apresenta os valores médios da precipitação histórica em escala mensal no o período de 1985 a 2015, para a região da sub-bacia hidrográfica do Alto Iguaçu.



FIGURA 4 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO MENSAL HISTÓRICA NO PERÍODO DE 1985 A 2015.



FONTE: CHIRPS, (2018).

A tabela 5 traz os valores e as variações das medições para as variáveis utilizadas no reservatório do Passaúna, bem como o IQAR das medições semestrais no período de agosto de 2009 a julho de 2013. De acordo com o Instituto Ambiental do Paraná (2017), o reservatório do Passaúna apresentou boas condições de transparência da água, baixos teores de nutrientes e de matéria orgânica, e por ser de classe III, está dentro dos limites considerados permitidos para o uso de abastecimento.

TABELA 5 – IQAR DO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA (AGO/09 A JUL/13)

VARIÁVEIS	Unidade	Ponto	ago/09	jan/10	jul/10	fev/11	jun/11	jan/12	out/12	jul/13
Déficit de oxig. Dissolvido	%		8,80	43,00	27,2	66,80	17,00	51	27,2	21,8
Fósforo Total	P (mg/L)	Prof-I	0,011	0,009	0,008	0,018	0,009	0,014	0,011	0,021
		Prof-II	0,012	0,017	0,010	0,022	0,007	0,014	0,015	0,015
Nitr. Inorg. Total	NO3 (nitrato)	Prof-I	0,230	0,180	0,560	0,140	0,300	0,120	0,430	0,323
		Prof-II	0,290	0,040	0,570	0,010	0,320	0,003	0,290	0,331
	NO2 (nitrito)	Prof-I	0,008	0,009	0,006	0,013	0,014	0,007	0,007	0,020
		Prof-II	0,009	0,005	0,003	0,001	0,016	0,002	0,020	0,020
	NH3 (amoniacal)	Prof-I	0,140	0,032	0,031	0,045	0,260	0,170	0,035	0,130
		Prof-II	0,140	0,460	0,060	0,320	0,270	0,530	0,160	0,120
Clorofila a	mg/m <sup>3</sup>	Prof-I	14,21	5,77	7,99	8,22	9,30	0,00	2,81	4,21
Disco de Secchi	metros	Prof-I	2,70	2,10	2,90	1,40	3,20	3,00	3,50	1,60
DQO	mg/L	Prof-I	12,0	13,0	4,3	8,8	16,0	8,8	7,4	9,7
		Prof-II	15,0	11,0	2	23,0	20,0	12,4	6,0	9,4
Tempo de Residência	dias		351	351	351	351	351	351	351	351
Profundidade média	metros		8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Cianobactérias	células	Prof-I	70	3.300	4.411	2.508	1.243	1.529	5.929	2.398
IQAR			2,95	3,34	2,77	3,63	2,76	2,94	2,59	3,02
Legenda			Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Criticamente degradado a poluído	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado

FONTE: IAP (2017).

Em estações mais quentes como no verão, há a presença de estratificação térmica nas águas do reservatório, formando camadas de diferentes densidades que

atuam como barreiras e impedem a homogeneização da coluna d'água, ao passo que no inverno as temperaturas são mais uniformes. Ainda há a presença de anóxia em profundidades maiores no reservatório, contribuindo para o déficit de oxigênio dissolvido.

Durante a medição de fevereiro de 2011, apesar das precipitações acima da média no mês (tabela 4), houve redução de nutrientes, clorofila *a* e densidade de cianobactérias em relação à medição anterior, no entanto, houve um aumento significativo no IQAR. A densidade maior de cianobactérias na medição de julho de 2010 aumentou a carga de matéria orgânica que impactou na medição seguinte (fevereiro de 2011), fator que culminou para o significativo aumento da DQO e consequentemente com a decomposição dessa matéria orgânica aumenta a demanda por O.D. culminando para o aumento súbito no déficit de oxigênio, fatores que pesaram na determinação do IQAR. Nesse sentido, o alto volume de chuvas não interferiram de maneira crucial nos parâmetros.

O reservatório Piraquara I de acordo com o Instituto Ambiental do Paraná (2017), também apresentou boas condições de transparência nas águas, baixas concentrações de matéria orgânica, baixo a médio valores de nutrientes, bem como apresentou um pH dentro dos limites aceitáveis. A tabela 6 reúne os valores obtidos nas medições do reservatório do Piraquara I no período de fevereiro de 2009 a julho de 2013.

TABELA 6 – IQAR DO RESERVATÓRIO DO PIRAQUARA I (FEV/09 A JUL/13)

VARIÁVEIS	Unidade	Ponto	fev/09	jul/09	jan/10	jul/10	fev/11	jan/12	out/12	jul/13
Déficit de oxig. Dissolvido	%		58,30	5,40	54,50	8,80	91,90	63,20	12,80	11,50
Fósforo Total	P (mg/L)	Prof-I	0,006	0,007	0,013	0,014	0,007	0,011	0,007	0,007
		Prof-II	0,008	0,007	0,012	0,007	0,010	0,011	0,009	0,007
Nitr. inorg. Total	NO <sub>3</sub> (nitrato)	Prof-I	0,030	0,072	0,050	0,120	0,050	0,010	0,080	0,080
		Prof-II	0,020	0,073	0,050	0,100	0,050	0,010	0,070	0,070
	NO <sub>2</sub> (nitrito)	Prof-I	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
		Prof-II	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	<0,002	0,003
	NH <sub>3</sub> (amoniaco)	Prof-I	0,016	0,220	0,065	0,150	0,022	0,048	0,066	0,160
		Prof-II	0,240	0,240	0,199	0,160	0,032	0,290	0,091	0,150
Clorofila <i>a</i>	mg/m <sup>3</sup>	Prof-I	6,58	2,37	3,40	6,29	1,73	0,97	5,18	12,28
Disco de Secchi	metros	Prof-I	2,10	2,80	2,20	4,00	3,00	3,40	2,40	2,00
DQO	mg/L	Prof-I	8,0	15,0	14,0	2,5	9,5	9,0	9,6	12,0
		Prof-II	7,7	16,0	11,0	5,0	13,0	9,3	11,0	9,4
Tempo de Residência	dias		387	387	387	387	387	387	387	387
Profundidade média	metros		6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Cianobactérias	células	Prof-I	1.144	140	0	330	330	1.287	8.184	4.026
IQAR			3,20	2,60	3,30	2,54	3,00	2,84	2,88	3,05
Legenda			Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Pouco degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado

FONTE: IAP (2017).

Cabe ressaltar que o reservatório Piraquara I, assim como o reservatório do Passaúna, também apresenta uma maior circulação no período do inverno, com

distribuição de oxigênio dissolvido acompanhando a estratificação térmica, com valores superiores próximos a superfície e presença de anóxia no fundo.

O reservatório Piraquara II apresentou condições satisfatórias de oxigenação na maior parte do período analisado, no entanto, houve alta turbidez, médias a altas concentrações de fósforo total e fitoplâncton, baixo teor de matéria orgânica e pH dentro da faixa aceitável (IAP, 2017). A tabela 7 apresenta os valores das variáveis analisadas bem como o IQAR das medições no período de 2009 a 2013 para o reservatório do Piraquara II.

TABELA 7 – IQAR DO RESERVATÓRIO DO PIRAQUARA II (NOV/09 A JUL/13)

VARIÁVEIS	Unidade	Ponto	nov/09	jan/10	jul/10	fev/11	jun/11	jan/12	out/12	jul/13
Déficit de oxig. Dissolvido	%		63,40	50,40	25,50	28,30	29,03	43,30	20,25	16,91
Fósforo Total	P (mg/L)	Prof-I	0,039	0,031	0,026	0,029	0,023	0,026	0,021	0,020
		Prof-III	0,057	0,030	0,025	0,030	0,025	0,024	0,021	0,022
Nitr. Inorg. Total	NO3 (nitrato)	Prof-I	0,080	0,020	0,220	0,050	0,050	0,020	0,100	0,060
		Prof-III	0,120	0,020	0,590	0,250	0,050	0,020	0,110	0,080
	NO2 (nitrito)	Prof-I	0,005	0,002	0,093	0,002	0,003	0,001	0,002	0,004
		Prof-III	0,007	0,001	0,094	0,002	0,003	0,001	0,002	0,004
	NH3 (amoniaco)	Prof-I	0,029	0,035	0,076	0,280	0,110	0,140	0,051	0,120
		Prof-III	0,200	0,076	0,130	0,031	0,095	0,200	0,110	0,120
Clorofila a	mg/m <sup>3</sup>	Prof-I	18,81	11,10	7,86	13,85	4,86	4,31	1,85	4,18
Disco de Secchi	metros	Prof-I	1,10	1,30	1,40	0,70	2,00	2,90	1,40	1,20
DQO	mg/L	Prof-I	16,0	20,0	9,3	14,0	21,0	12,5	14,0	17,0
		Prof-III	11,0	17,0	11,4	12,0	19,0	11,0	<2	16,0
Tempo de Residência	dias		114	114	114	114	114	114	114	114
Profundidade média	metros		3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Cianobactérias	células	Prof-I	1.122	1.342	415	638	2.827	1.892	26.274	2.431
IQAR			3,90	3,82	3,17	3,44	3,02	2,95	2,91	2,85
Legenda			Criticamente degradado a poluído	Criticamente degradado a poluído	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado	Moderadamente degradado

FONTE: IAP (2017).

Assim como nos reservatórios anteriores, o Piraquara II também apresentou estratificações térmicas no verão e maior circulação no inverno, bem como variação no índice de oxigênio dissolvido a medida que a profundidade aumenta, formando a presença de anóxia nas camadas do fundo.

Os reservatórios do Passaúna, Piraquara I e Piraquara II (tabelas 5, 6 e 7 respectivamente) apresentaram em suas medições baixa quantidade de cianobactérias, fato que culmina para as boas condições de transparência da água e baixo teor de matéria orgânica, no entanto, nos reservatórios do Piraquara I e Piraquara II, na medição feita em outubro de 2012 foi registrado um súbito aumento na quantidade de cianobactérias (tabelas 6 e 7), que possivelmente está relacionado ao fato de que as condições climáticas ocorridas no período como precipitações acima da média histórica (figura 4) e temperaturas mais elevadas, no entanto, houve uma redução no volume de nutrientes em relação à medição anterior.

De acordo com o Instituto Ambiental do Paraná (2017), o reservatório do Iraí apresenta elevada turbidez, altas concentrações de fósforo total e matéria orgânica, com valores de pH elevados (superando 9,0 unidades) e média concentração de nitrogênio. A tabela 8 apresenta os valores das medições feitas no reservatório no período de fevereiro de 2009 a julho de 2013 bem como o IQAR.

TABELA 8 – IQAR DO RESERVATÓRIO DO IRAÍ (FEV/09 A JUL/13)

VARIÁVEIS	Unidade	Ponto	fev/09	jul/09	jan/10	jul/10	fev/11	jun/11	jan/12	out/12	jul/13
Déficit de oxig. Dissolvido	%		42,80	2,90	11,50	0,00	40,20	1,90	29,18	23,60	10,18
Fósforo Total	P (mg/L)	Prof-I	0,017	0,038	0,030	0,045	0,025	0,023	0,028	0,035	0,058
		Prof-II	0,220	0,036	0,031	0,036	0,022	0,036	0,024	0,033	0,059
Nitr. Inorg. Total	NO3 (nitrato)	Prof-I	0,020	0,041	0,410	0,100	0,120	0,050	0,007	0,010	0,690
		Prof-II	0,020	0,033	0,030	0,009	0,040	0,050	0,010	0,010	0,660
	NO2 (nitrito)	Prof-I	0,001	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,032
		Prof-II	0,001	0,003	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,033
	NH3 (amoniacal)	Prof-I	0,022	0,025	0,079	0,020	0,027	0,020	0,033	0,026	0,310
		Prof-II	0,055	0,021	0,107	0,020	0,093	0,016	0,240	0,040	0,290
Clorofila a	mg/m <sup>3</sup>	Prof-I	11,10	23,45	15,11	29,95	11,88	22,45	17,76	67,34	17,17
Disco de Secchi	metros	Prof-I	1,60	0,80	1,20	0,70	1,00	1,00	1,00	0,40	0,70
DQO	mg/L	Prof-I	20,0	29,0	21,0	31,0	12,0	20,0	18,4	35,0	26,0
		Prof-II	18,0	30,0	19,0	25,0	13,0	24,0	49,5	24,0	31,0
Tempo de Residência	dias		420	420	420	420	420	420	420	420	420
Profundidade média	metros		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Cianobactérias	células	Prof-I	17.996	111.706	26.563	256.549	22.946	268.478	129.860	214.118	21.384
IQAR			4,11	3,72	3,77	3,84	3,83	3,72	4,18	4,33	4,09
Legenda			Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0	Criticamente degradado a ponto 0

FONTE: IAP (2017).

Com elevadas cargas de nutrientes aportadas de afluentes com qualidade da água comprometidas, em conjunto com a baixa profundidade e alto tempo de residência das águas no reservatório, favorecem altas taxas de produtividade primária do fitoplâncton e altas concentrações de cianobactérias, responsáveis pela má qualidade da água no local. O reservatório do Iraí apresenta características de lagos rasos que facilita a circulação pela ação dos ventos, apesar da estratificação térmica, o Iraí apresenta valores elevados de O.D. na superfície, podendo chegar à saturação em determinados períodos e valores próximos a anóxia nas camadas do fundo (IAP, 2017). A saturação do O.D. está relacionada a fotossíntese biótica presente, a relação entre a atmosfera e a água bem como a altitude do corpo hídrico, neste caso, a saturação do O.D. no reservatório do Iraí pode estar relacionada ao elevado número de indivíduos fotossintetizantes. Segundo Rio (2003), a eutrofização pode se agravar em ambientes rasos devido aos processos de resuspensão que disponibiliza os nutrientes presentes no corpo d'água aos organismos vivos.

Devido a classificação do reservatório do Iraí ser de classe IV, o mesmo está fora dos padrões para uso no abastecimento da população, gerando custos para o tratamento dessa água.

Por outro lado, o reservatório do Iraí também apresentou um súbito aumento na quantidade de cianobactérias, porém em quantidades bem mais elevadas no mesmo período (tabela 8), as altas concentrações de clorofila a indicam um elevado número de indivíduos fotossintetizantes que justificam a saturação de O.D. bem como a redução no déficit do mesmo na medição seguinte (julho de 2013). Pode-se considerar uma certa predominância do grupo das cianobactérias no reservatório e consequentemente há maior teor de matéria orgânica presente na água, exigindo maior quantidade de oxigênio para a degradação dessa matéria. Dada essas condições e as concentrações de clorofila a, o Instituto Ambiental do Paraná considerou o reservatório do Iraí como eutrófico. No entanto, há uma significativa redução nas quantidades de cianobactérias presentes no reservatório nas medições seguintes.

Segundo um estudo realizado por Oliver e Ribeiro (2014), mostrou que fatores climáticos como precipitação e temperaturas predominantemente altas, favorecem o aumento da densidade das cianobactérias na água bem como as chuvas atuam como uma fonte natural de fosfato e nitrogênio, aumentando o aporte de nutrientes na água. De acordo com Esteves e Meirelles-Pereira (2011 apud Oliver e Ribeiro, 2014), as chuvas tem maior intensidade como carreador de nutrientes em regiões industriais e/ou de intensa poluição atmosférica.

#### **4.3 A APLICABILIDADE DOS DADOS DO SENSOR CHIRPS NA IDENTIFICAÇÃO DE INFLUÊNCIAS DAS VARIÁVEIS DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Como já fora mostrado anteriormente, os dados do sensor CHIRPS possuem alta correlação com os dados de superfície como a estação automática do INMET, tanto em escala mensal quanto para escala anual, no entanto, o mesmo não foi verificado em escala diária. A tabela a seguir mostra a correlação dos dados do CHIRPS com os dados do INMET em escala anual para o período de 1985 a 2015.



TABELA 9 – CORRELAÇÃO NA ESCALA ANUAL ENTRE OS DADOS DO CHIRPS E INMET NO PERÍODO DE 1985 A 2015

CORRELAÇÃO ANUAL (1985-2015)					
<b>1985</b>	0,8993	<b>1996</b>	0,9631	<b>2007</b>	0,9712
<b>1986</b>	0,9549	<b>1997</b>	0,9696	<b>2008</b>	0,9296
<b>1987</b>	0,9247	<b>1998</b>	0,9244	<b>2009</b>	0,9795
<b>1988</b>	0,9002	<b>1999</b>	0,9741	<b>2010</b>	0,9860
<b>1989</b>	0,9289	<b>2000</b>	0,9535	<b>2011</b>	0,9505
<b>1990</b>	0,8645	<b>2001</b>	0,9576	<b>2012</b>	0,9907
<b>1991</b>	0,8908	<b>2002</b>	0,8810	<b>2013</b>	0,8574
<b>1992</b>	0,9004	<b>2003</b>	0,8956	<b>2014</b>	0,9774
<b>1993</b>	0,9694	<b>2004</b>	0,9702	<b>2015</b>	0,9870
<b>1994</b>	0,9394	<b>2005</b>	0,9178		
<b>1995</b>	0,9705	<b>2006</b>	0,9709		

FONTE: CHIRPS, (2018); INMET, (2018).

As correlações foram feitas através do método de Pearson, e nota-se que os valores estão bem próximos de 1, logo são considerados valores altos de uma correlação, caracterizando uma correlação ótima. Já para escala mensal (figura 3), os resultados tiveram maior variação embora foram consideradas boas a ótimas correlações para essa escala.

As variáveis da qualidade da água presentes nos ecossistemas aquáticos se relacionam entre si e um desequilíbrio entre estas certamente irá influenciar na qualidade desse ecossistema. A chuva por sua vez, tende a influenciar direta ou indiretamente na qualidade da água, pois pode ser a ligação direta entre a atmosfera e a água, além de transportar nutrientes como o fósforo, no qual tem papel importante no ecossistema aquático uma vez que está associado ao metabolismo dos seres vivos presentes na água. A chuva também pode influenciar, junto com outros fatores climáticos, na temperatura da superfície da água, causando estratificação térmica e podendo alterar os parâmetros físico-químicos da água. Através do processo de lixiviação, a chuva transporta nutrientes oriundos de efluentes domésticos, industriais e agrícolas ricos em nutrientes principalmente em áreas onde não há cobertura vegetal, o acúmulo desses nutrientes no corpo hídrico causa a eutrofização.

O déficit de O.D. no reservatório Passaúna (tabela 5), pareceu acompanhar a sazonalidade, em meses com maior regime de chuvas como no verão, houve um déficit maior de oxigênio que pode estar relacionado com a variação da temperatura da água. Houve um acréscimo de nutrientes, com concentrações maiores no inverno onde há maior circulação da coluna d'água, no entanto são períodos caracterizados

por serem mais secos. Apesar das baixas concentrações de cianobactérias no reservatório, nas medições do ano de 2010 houve um nítido aumento na concentração dessas algas, fato que tende a ter relação com as chuvas do período, uma vez que o ano de 2010 foi um ano com regimes de chuva mais intensos.

Assim como no reservatório do Passaúna, o reservatório do Piraquara I (tabela 6) também apresentou déficit de O.D. acompanhando a sazonalidade sendo maior o déficit em meses mais chuvosos. O reservatório do Piraquara I também apresentou aumento de nutrientes (nitrogênio e fósforo) no período do inverno, com destaque para julho de 2009 onde houve um pico na concentração desses nutrientes que pode estar associado com um regime de chuva muito acima da média. Apesar de concentrações muito baixas de cianobactérias no reservatório, estas não acompanharam o regime de chuvas, porém houve redução total na concentração em janeiro de 2010, período em que houve precipitação muito acima da média, o que pode ter favorecido a reincidência de cianobactérias nas medições seguintes. Com o aumento de nutrientes e precipitações acima da média, em outubro de 2012 houve um aumento significativo nas florações das cianobactérias que pode ter relação com esses fatores, o mesmo ocorreu no reservatório do Piraquara II (tabela 7).

Como nos reservatórios anteriores o mesmo se aplicou ao déficit de O.D. no reservatório do Piraquara II (tabela 7), porém com menor variação. Houve um decréscimo nas concentrações de nutrientes embora tenha apresentado alta concentração de fósforo em novembro de 2009, fato que pode ter relação com a precipitação acima da média no mês e o fósforo presente na atmosfera. De um modo geral, as densidades de cianobactérias foram baixas e a precipitação no período não aparentou favorecer sua proliferação, exceto em outubro de 2012.

Para o reservatório do Iraí, o mesmo também se aplica como nos outros reservatórios quanto ao déficit de oxigênio ser maior nos meses de maior regime de chuvas (tabela 8). Devido aos rios contribuintes apresentarem elevadas cargas de nutrientes e matéria orgânica, aliados às chuvas e a falta de mata ciliar em algumas partes do entorno, o reservatório apresentou altíssimas concentrações de fósforo. As densidades de cianobactérias também foram muito elevadas principalmente nos meses de julho 2010 e junho de 2011, podendo ter relação com a precipitação demasiada correspondente às medições anteriores (tabela 4 e tabela 8) bem como a quantidade elevada de nutrientes. Coincidentemente ou não, em todos os

reservatórios analisados, outubro de 2012 caracterizou um aumento significativo na densidade das cianobactérias.

De acordo com Silva et al. (2008), mesmo que as variáveis físico-químicas se relacionem entre si, existe a possibilidade de serem influenciadas pelo meio externo, como a ocorrência de chuva. A utilização da ferramenta do CHIRPS para análise das variáveis da qualidade da água é limitada pois nem todas as variáveis que determinam o IQAR serão diretamente influenciadas pela chuva visto que estas são inter-relacionadas. Para algumas variáveis como densidade de cianobactérias, e déficit de oxigênio dissolvido os dados do CHIRPS se mostraram eficazes ao passo que para variáveis como a concentração de nutrientes o CHIRPS se mostrou inconclusivo em alguns pontos.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto acima, observa-se que a correlação entre os dados de satélite do sensor CHIRPS e os dados das estações automáticas do INMET obtiveram valores consideráveis e, portanto, é recomendado o uso do banco de dados de precipitação do sensor CHIRPS para estudos em escala mensal e anual. Porém, cabe ressaltar que o estudo foi feito para a região de Curitiba e que existe a possibilidade de os resultados variarem quando o método for utilizado em diferentes latitudes.

De um modo geral, ao comparar os dados do sensor CHIRPS com os dados fornecidos pelo IAP, estes auxiliaram nas tomadas de decisões diante da interferência externa da precipitação nas variáveis. Porém não se pôde concluir o estudo unicamente com esses dados, a ideia é que o CHIRPS sirva de apoio para estudos no sentido de criar subsídios para uma análise mais completa, visto que as correlações com dados de superfícies em escala mensal e anual foram satisfatórias e pela facilidade de utilização da ferramenta.

O estudo apresentou os valores do IQAR dos reservatórios com foco nas unidades que abastecem a Região Metropolitana de Curitiba, e dentro desta perspectiva, dos quatro reservatórios estudados três apresentam o IQAR em boas condições para abastecimento público (classe III), fato que não os isenta de haver uma degradação moderada, o que demanda atenção nas futuras medições. Apenas um reservatório apresentou um IQAR que não condiz com os padrões mínimos para uso em abastecimento, este é o reservatório do Iraí (classe IV).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 18/12/2018.

AZEVEDO, L. C. de. **Análise da precipitação pluvial da bacia do rio Iguaçu-Paraná**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Brasília. INMET. 1985-2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>> Acesso em: 10/07/2018.

BAUMGARTEN, M.G.Z.; POZZA, S.A. **Qualidade das Águas**: Descrição de parâmetros químicos referidos na Legislação Ambiental. Rio Grande: FURG. 2001.

CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M.; ROSEGHINI, W. F. F. **Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos**. Geosul, Florianópolis, v. 32, n. 64, p. 179-192, 2017.

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS). New York. Climate Hazards Group. 1985-2015. Disponível em: <<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/>> Acesso em: 10/05/2018.

ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS – GRÁFICOS. Brasília: INMET, 2006. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf) Acesso em: 10/01/2019.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência. 575p., 1998.

ESTEVES, F. A.; MEIRELLES-PEREIRA, F. Eutrofização artificial. In: ESTEVES, F. A. (Coord.) **Fundamentos de Limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p.625-55.

FRITZSON, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGE, M. S. & CHAVES NETO, A. **Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no Estado do Paraná**. RA'E GA. Curitiba, n. 23, p.555-572, 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>>. Acesso em: 18/05/2018.

Instituto Ambiental do Paraná (IAP). **Qualidade das Águas Reservatórios do Estado do Paraná 2005 a 2008**. Curitiba: Editora Fundamento, 2009. Relatório de qualidade da água de rios e reservatórios.

Instituto Ambiental do Paraná. **Qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná**. Curitiba, 2017. Relatório técnico.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. p.139. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MILFORD, J. R.; MCDOUGALL, V. D.; DUGDALE, G. Rainfall Estimation from Cold Cloud Duration: Experience of TAMSAT group in West Africa. Reading, Department of Meteorology, [1994?].

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, Malawi, v. 24, n. 3, p. 69-71, set. 2012.

OLIVEIRA, S. M. – Análise do processo de chuva-vazão de duas bacias hidrográficas na região litorânea do estado do Paraná, através do Modelo de Tanque. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Pós-Graduação em Ciências do Solo. 1999.

OLIVER, S. L.; RIBEIRO, H. Variabilidade climática e qualidade da água do Reservatório Guarapiranga. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 28, n. 82, p 96-128, fev. 2014.

RIO, C. M. M. G. **Modelagem da Circulação de um Reservatório Tropical Polimítico**. 116 f. Monografia (Especialização em Ecologia e Recursos Naturais) – Setor de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA). **Bacias Hidrográficas do Paraná** Série Histórica. 2ª Ed. 2013

SILVA, A. E. P; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T. & WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 733-742, set. 2008.